

минут. Большая часть НП переходила во взвешенное состояние, образуя гомогенную суспензию. Для оценки стабильности был проведен анализ оптической плотности на спектрофотометре Экрос ПЭ-5300ВИ в Уральском Федеральном Университете для трех образцов: приготовленные непосредственно перед анализом суспензии со стабилизатором и без, приготовленная за три дня до анализа и повторно озвученная суспензия без стабилизатора. Зависимость оптической плотности суспензий от времени показала осаждаемость крупных частиц около 15-20 % от массы спустя 40 минут после озвучивания (рис.1), что является приемлемым показателем при условии проведения анализов с клеточными структурами и биологическими объектами непосредственно после озвучивания. По полученным результатам можно сделать, что минимальную осаждаемость показала суспензия с добавлением стабилизатора цитрата натрия.

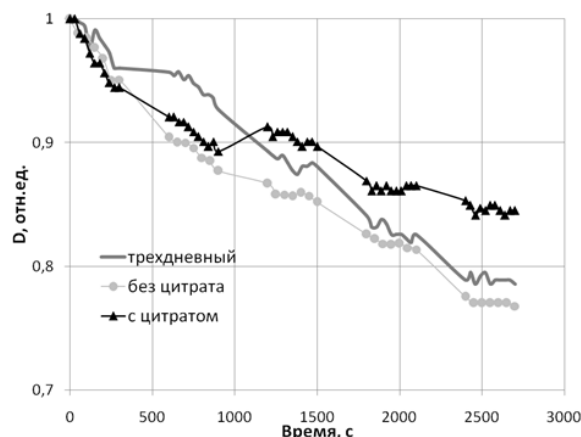


рис. 1. Зависимость оптической плотности суспензий  $D$  от времени

Полученные результаты могут служить основой для дальнейших медико-биологических экспериментов с целью определения тропности НП к клеткам или тканям организма, фармакокинетики для использования полученной системы в качестве контрастирующего агента, а также для доставки лекарственных средств.

Список публикаций:

- [1] Barrabino A. // *Synthesis of mesoporous silica particles with control of both pore diameter and particle size*, Master of Science Thesis in Materials and Nanotechnology program, Sweden, 2011. С. 7-19.
- [2] Guillet-Nicolas R., Laprise-Pelletier M. et al. // *Manganese-impregnated mesoporous silica nanoparticles for signal enhancement in MRI cell labelling studies*, *Nanoscale*, 2013. С. 1-13.
- [3] Соковнин С.Ю., Ильвес В.Г. // *Применение импульсного электронного пучка для получения нанопорошков некоторых оксидов металлов*. Екатеринбург: РИО УрО РАН, 2012. - 316 с. ISBN 978-5-7691-2298-9

## Метод изготовления индивидуальных дозиметрических фантомов

**Красных Ангелина Александровна**

Милойчикова Ирина Алексеевна, Стучебров Сергей Геннадиевич, Огребов Андрей Владимирович

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Потылицын Александр Петрович

[angelina12021993@gmail.com](mailto:angelina12021993@gmail.com)

С каждым годом возрастает количество больных с диагнозом онкология. Одним из распространенных методов лечения злокачественных новообразований является лучевая терапия, которая представляет собой облучение раковых клеток ионизирующим излучением. Такой подход имеет ряд преимуществ, как альтернатива или дополнение к хирургическим методам и химиотерапии. Однако, существуют риски связанные с воздействием ионизирующего излучения на органы и ткани пациента. Для уменьшения негативных последствий лечения необходимо проводить дозиметрическое планирование каждой процедуры. На сегодняшний день дозиметрическое планирование лучевой терапии осуществляется расчетным методом, основанным на моделировании взаимодействия ионизирующего излучения с органами и тканями пациента, и экспериментальным с использованием типовых тканеэквивалентных фантомов. Такие подходы имеют ряд недостатков: расчетный метод не учитывает реальные характеристики клинических ускорителей, которые могут меняться в процессе эксплуатации, а при планировании процедур экспериментальным методом не принимается во внимание характер взаимодействия ионизирующего излучения с различными органами и тканями пациента.

Новый метод экспериментального планирования лучевой терапии с использованием индивидуальных фантомов, изготовленных с учетом анатомических особенностей отдельного пациента, позволит уменьшить

негативные последствия проводимых процедур. Для реализации такого метода необходимо учесть ряд обязательных условий, таких как невысокая стоимость готового продукта и экспрессность его изготовления, в связи с высокой динамикой течения процессов при некоторых формах онкологических заболеваний. На этом фоне изготовление индивидуальных фантомов при помощи аддитивных технологий представляется наиболее эффективным, однако, для этого необходимо иметь набор пластиковых филаментов с заданными индексами Хаунсфилда.

На первом этапе разработки данного метода проводилась теоретическая оценка взаимодействия ионизирующего излучения с модифицированными АБС и ПЛА пластиками, плотность которых менялась при добавлении металлической примеси [1-5]. Эти пластики были выбраны, так как они наиболее часто применяются для изготовления филаментов для работы с устройствами быстрого прототипирования. Моделирование показало возможность точно задавать плотность материала для имитации облучения различных тканей. Так как характер взаимодействия излучения с веществом определяется не только его полностью, необходимо получить экспериментальную зависимость индексов Хаунсфилда от массовой концентрации металлической примеси в пластике.

На следующем этапе работы были изготовлены модифицированные материалы. В качестве металлической примеси использовались порошки меди, свинца, цинка и вольфрама. Однако, опыты показали, что свинец, вольфрам и цинк разрушают молекулярные связи в пластике, в отличие от меди, которую можно добавлять в основу в больших концентрациях. Из полученных материалов, имеющих разные концентрации медной примеси, были изготовлены филаменты, из которых были напечатаны тестовые образцы. Далее все материалы и образцы были исследованы томографическим методом. В результате были определены индексы Хаунсфилда объектов и получена их экспериментальная зависимость от массовой концентрации медной примеси в пластике [6]. Текущий этап исследования направлен на расчет массовых концентраций медной примеси в пластике, при помощи полученной ранее зависимости, с целью создания филаментов с индексами Хаунсфилда, соответствующими реальным тканям пациента. Значения индексов тканей были получены в ходе медицинского томографического обследования (*рис. 1*).



*рис.1. Фронтальная проекция нижних конечностей пациента*

На основе томограммы, представленной на *рис. 1*, будет создана трехмерная модель, при помощи которой методами аддитивных технологий будет изготовлен макет дозиметрического фантома, имитирующего взаимодействие ионизирующего излучения с тканями пациента в точном соответствии с его анатомическими особенностями.

#### Список публикаций:

- [1] Stuchebrov S. G., Miloichikova I. A., Krasnykh A. A. // *Journal of Physics: Conference Series*. - 2016 - Vol. 732. p. 1-6.
- [2] Miloichikova I. A., Stuchebrov S. G. // *Journal of Physics: Conference Series*. - 2016 - Vol. 769, Article number 012014. - p. 1-6.
- [3] Данилова И. Б., Красных А. А., Милойчикова И. А., Стучебров С. Г. // VII школа-конференция молодых атомщиков Сибири: сб. тезисов докладов, Северск, 19-21 Октября 2016. - Северск: СТИ НИЯУ МИФИ, 2016 -С. 112.
- [4] Данилова И. Б., Красных А. А., Милойчикова И. А., Стучебров С. Г. // Вестник национального исследовательского ядерного университета «МИФИ». 2017 Т. 6 №. 1. -С. 78–82
- [5] Красных А. А., Милойчикова И. А., // Вестник национального исследовательского ядерного университета «МИФИ». – 2017 – Т. 6 - №. 2. - С. 7–11
- [6] Красных А. А., Данилова И. Б., Милойчикова И. А., Стучебров С. Г. // XIV Курчатовская междисциплинарная молодежная научная школа: сборник аннотаций, Москва, 8-11 Ноября 2016.: Курчатовский институт, 2016 - С. 81.